

Aus der Abteilung für zahnärztliche Werkstoffkunde
(Leiter: Prof. Dr. med. dent. J. Viohl)
des Institutes für Klinisch-Theoretische Zahn-, Mund- und
Kieferheilkunde des Fachbereiches
Zahn-, Mund- und Kieferheilkunde der Freien Universität Berlin

**HAFTFESTIGKEIT VON VIER ZAHNÄRZTLICHEN
ELASTOMEREN ABFORMMATERIALIEN
AM ABDRUCKTRÄGER IN ABHÄNGIGKEIT
VON DER SCHICHTDICKE**

Dissertation

zur

Erlangung der zahnmedizinischen Doktorwürde
am Fachbereich Zahn-, Mund- und Kieferheilkunde
der Freien Universität Berlin

vorgelegt von

Zahnarzt Dietmar Koppe-Wigankow
aus Berlin

1903



Digitized by the Internet Archive
in 2026

https://archive.org/details/IA41548817_0086

Aus der Abteilung für zahnärztliche Werkstoffkunde
(Leiter: Professor Dr. med. dent. J. Viohl)
des Institutes für Klinisch-Theoretische Zahn-, Mund- und
Kieferheilkunde
des Fachbereiches Zahn-, Mund- und Kieferheilkunde
der Freien Universität Berlin

HAFTFESTIGKEIT
VON VIER ZAHNÄRZTLICHEN
ELASTOMEREN ABFORMMATERIALIEN
AM ABDRUCKTRÄGER
IN ABHÄNGIGKEIT
VON DER
SCHICHTDICKE

Dissertation
zur
Erlangung der zahnmedizinischen Doktorwürde
am Fachbereich Zahn-, Mund- und Kieferheilkunde
der Freien Universität Berlin

vorgelegt von
Zahnarzt Dietmar Koppe - Wigankow
aus Berlin

Referent: Prof. Dr. J. Viohl

Korreferent: Prof. Dr. G. Sauer

Gedruckt mit Genehmigung des Fachbereiches Zahn-, Mund- und
Kieferheilkunde der Freien Universität Berlin.

Promoviert am: 10.07.1984

INHALTSVERZEICHNIS

	Seite
1. EINLEITUNG	7
2. SCHRIFTTUMSÜBERSICHT	8
2.1. Haftmechanismen	8
2.1.1. Adhäsion und Kohäsion	8
2.1.2. Mechanische Haftung	9
2.1.3. Hafteinflüsse	10
2.2. Haftung zwischen Abformwerkstoff und Mundgewebe	10
2.2.1. Adhäsion	10
2.2.2. Friktion	11
2.2.3. Untersichgehende Stellen	11
2.2.4. Elastizität der Mundgewebe	11
2.2.5. Gleit- und Trennmittel	12
2.2.6. Zusammenfassung	13
2.3. Haftung zwischen Abformwerkstoff und Abdrucklöffel	13
2.3.1. Abdrucklöffel	13
1. Material	14
2. Formen	15
3. Perforationen	16
4. Randverstärkungen	16
2.3.2. Adhäsivlacke	17
2.4. Festigkeit der Abformmaterialien	17
2.5. Schichtdicke	18
2.6. Untersuchungen	19
2.6.1. Klinische Untersuchungen	19
2.6.2. Laboruntersuchungen	20
1. Modellversuche	20
2. Haftfestigkeitsmessungen	20
3. EIGENE UNTERSUCHUNGEN	22
3.1. Vorversuche	22
3.1.1. Versuchsaufbau	22
3.1.2. Materialauswahl	26
3.1.3. Wahl der Schichtdicken	26

	Seite
3.1.4.	Erweiterung des Versuchsaufbaus 28
3.1.5.	Herstellung und Vorbereitung der Kunststofflöffelplatten 30
3.1.6.	Wahl der Materialmenge 31
3.2.	Hauptversuche 32
3.2.1.	Versuchsmaterialien 32
3.2.3.	Versuchsbedingungen 35
3.2.4.	Versuchsablauf 36
4.	ERGEBNISSE 38
4.1.	Allgemeine Ergebnisse 38
4.2.	Messergebnisse 38
4.3.	Statistische Überprüfung 40
4.4.	Beschreibung der Ergebnisse 41
4.5.	Vergleich der Ergebnisreihen 44
4.5.1.	Schichtdicke 44
4.5.2.	Abformmaterialien 49
4.5.3.	Zug- und Scherversuche 51
4.5.4.	Perforationen 53
4.5.5.	Löffelmaterial 54
4.5.6.	Adhäsivlack 55
5.	DISKUSSION 56
5.1.	Versuchsaufbau 56
5.2.	Versuchsdurchführung 57
5.3.	Ergebnisse 58
5.3.1.	Abzugskräfte 58
5.3.2.	Schichtdicke 58
5.3.3.	Abformmaterialien 61
5.3.4.	Zug- und Scherkräfte 61
5.3.5.	Löffelmaterial 62
5.3.6.	Perforationen 62
5.3.7.	Adhäsivlack 63
6.	KLINISCHE FOLGERUNGEN 64
7.	ZUSAMMENFASSUNG 65
6.	SCHRIFTTUMSVERZEICHNIS 67

1. EINLEITUNG

Die dimensionstreue Wiedergabe einer Mundsituation eines Patienten zur Herstellung eines unverfälschten Modells ist eine in allen klinischen Disziplinen der Zahnheilkunde vorkommende Notwendigkeit und für den Erfolg darauf hergestellter therapeutischer Mittel von ausschlaggebender Bedeutung.

Trotz der Vervollkommnung der Materialien und Geräte bleiben Mißerfolge nicht aus. Zahlreiche wissenschaftliche Arbeiten geben eine Reihe von Hinweisen auf Fehlerquellen, Verbesserungsvorschlägen und Ergebnissen, die eine Optimierung der Abformtechniken ermöglichen und Anregungen auf weitere Untersuchungen geben.

Die vorliegende Arbeit untersucht an vier Abdrucklöffelwerkstoffen mit vier gebräuchlichen Elastomeren Einflüsse und Abhängigkeiten zwei verschiedener Schichtdicken der Abformmaterialien auf die Haftfestigkeit am Abdrucklöffel abhängig vom Löffelwerkstoff und Gebrauch von Adhäsivlack bei Zug- und Scherbelastungen.

2. SCHRIFTTUMSÜBERSICHT

2.1. HAFTMECHANISMEN

Der Halt des Abformmaterials am Abdrucklöffel ist abhängig von der Höhe der Haftkraft des Abformmaterials an den Zähnen und den Weichgeweben der Mundhöhle. Für den Erfolg einer Abformung ist also zu fordern, daß der Halt des Materials am Löffel stets und überall den Halt des Materials im Munde übersteigen muß. Für beide Verbundstellen gelten folgende allgemeingültige Haftmechanismen.

2.1.1. ADHÄSION UND KOHÄSION

Die Begriffe Adhäsion und Kohäsion beziehen sich auf intermolekulare Kräfte, welche die flüssige und feste Materie zusammenhalten. Beide sind nur verschiedene Aspekte des gleichen Phänomens, nämlich der intermolekularen Anziehung. Man spricht von Kohäsion als einer Wechselwirkung zwischen aneinanderstoßenden Teilen desselben Körpers, die im gesamten Inneren des Körpers wirksam ist, während der Begriff Adhäsion sich auf eine ähnliche Wechselwirkung zwischen eng aneinander berührenden Oberflächen benachbarter Körper aus verschiedenem Material bezieht (3).

Die gegenseitige potentielle Energie zweier neutraler Moleküle oder Atome besitzt als Funktion des gegenseitigen Abstandes bei einem bestimmten Gleichgewichtsabstand ein Minimum. Mit anderen Worten: Auf Grund von Kräften, die wahrscheinlich elektrischer Natur sind, wäre für ein System zweier

Teilchen, die sich im Gleichgewichtsabstand voneinander befinden, Energiezufuhr von außen notwendig, sowohl, um die Teilchen noch näher aneinanderzubringen, als auch, um sie weiter voneinander zu entfernen (Stabiles Gleichgewicht). Die Verteilung der Moleküle, Atome oder Ionen in einem Festkörper ist durch diese Art von Gleichgewicht bestimmt, ebenso wie die regelmäßige Anordnung der Gitterbausteine in Kristallen und der Atome in einem Molekül. Auf der gleichen Basis werden auch die starken inneren Reaktionskräfte verständlich, die bei einer elastischen Verformung eines Festkörpers auftreten.

Die Adhäsion ist umso größer, je inniger der Kontakt der beiden Partner ist. So erklärt sich zum Beispiel, weshalb man mit einem Bleistift aufdrücken muß, um damit auf Papier zu schreiben. In ähnlicher Weise ist verständlich, weshalb feiner Staub fester haftet als grober Sand, und weshalb eine Flüssigkeit im allgemeinen besser an einem Festkörper haftet als ein Festkörper. Die Kohäsion ist in Flüssigkeiten im allgemeinen geringer als in Festkörpern.

2.1.2. MECHANISCHE HAFTUNG

Lutz et alii (13) machen für die mechanische Haftung geometrische und rheologische Effekte verantwortlich. Oberflächenrauigkeiten und stets vorhandene Mikroporen lassen eine Verzahnung zu und machen aufgrund geometrischer Effekte eine mechanische Retention möglich. Rheologische Effekte

kommen bei nicht ganz festen und flüssigen Stoffen vor, die einer Phasenveränderung unterliegen, dabei schrumpfen und aufgrund einer Klemmwirkung einem festen Substrat dicht mechanisch anliegen.

2.1.3. HAFTEINFLÜSSE

Berühren sich zwei Stoffe, so ist die Größe ihrer Haftkraft neben den direkten Haftmechanismen noch anderen Einflüssen unterworfen. Als Friktion bezeichnet man die Haftreibung oder den Bewegungswiderstand. Soll ein ruhender Körper bewegt werden, muß erst die Haftreibung oder die Reibung der Ruhe überwunden werden. Dann erst beginnt die Gleitbewegung, d.h. die Gleitreibungskraft löst die Haftreibungskraft ab. Gleitmittel können die benötigte Gleitreibungskraft verringern. Ihre Oberflächenspannung steht im Zusammenhang zur Haftspannung von Flüssigkeiten an festen Wänden und beeinflußt das Benetzungsverhalten und damit die Güte als Gleitmittel, FRANKE (4). Ein weiteres Kriterium für die Beeinflussung der Haftung ist der Luftdruck. Er stellt die atmosphärische Kraft auf eine Fläche dar und wird bei negativen Werten als Sog oder Unterdruck bezeichnet.

2.2. HAFTUNG ZWISCHEN ABFORMWERKSTOFF UND MUNDGEWEBEN

2.2.1. ADHÄSION

REHBERG (16) hat sich bereits 1956 in einem Beitrag zur Frage des Halteeffekts totaler Prothesen sehr intensiv mit den physikalischen Grundlagen im Munde auseinandergesetzt. Zum Problem

der Adhäsion bemerkt er, daß nach experimentellen physikalischen Untersuchungen Adhäsion erst auftritt, wenn ein geringerer Abstand als $5 \text{ mal } 10^{-6} \text{ cm}$ bei Anwendung von Druck vorliegt. Das Vorhandensein von Speichel als Flüssigkeitsfilm lasse reine Adhäsionskräfte im Munde nicht vorkommen. Diese Ausführungen sind prinzipiell auch auf das System Abdruckmaterial - Mundoberfläche übertragbar.

2.2.2. FRIKTION

Haftreibung oder Bewegungswiderstand läßt sich aufgrund oben genannter Definition sicher zwischen dem abgebundenen Abformmaterial und den Zähnen oder den zahnlosen Kieferabschnitten vermuten. Die Größenverhältnisse sind nicht durch eindeutiges Zahlenmaterial belegbar.

2.2.3. UNTERSICHGEHENDE STELLEN

MARXKORS (14) spricht in diesem Zusammenhang von Infrawölbungen, die abhängig von ihrer Größe und vom Elastizitätsmodul des Abformwerkstoffes primär eine mechanische Retention darstellen.

2.2.4. ELASTIZITÄT DER MUNDGEWEBE

Jede Abformung des Mundes eines Patienten gibt eine einmalige Situation wieder. Der Abformwerkstoff lagert sich den verschiedenen beteiligten Geweben unterschiedlich an, da seine Platzierung immer mit der Anwendung von Druck einhergeht, K.KÖRBER (10). So kann die resiliente Schleimhaut des Gau-

mens einem unter Druck eingebrachten steifen Abformmaterial anders ausweichen als ein nur in seiner Alveole beweglicher, sonst starrer Zahn. Dadurch bedingt ist auch der Formschluß Gewebe - Abformwerkstoff verschieden. Je besser der Formschluß ist, desto größer ist die Wiedergabegenauigkeit.

2.2.5. GLEIT- UND TRENNMITTEL

E.KÖRBER (9) kommt in einem Beitrag über die Haltekräfte von Prothesen im Munde, einer mit Abdrücken im Munde durchaus vergleichbaren Situation, zu dem Ergebnis, daß Unterdruckverhältnisse ebenso wie das Fließen von Flüssigkeiten in engen Spalten maßgeblich daran beteiligt sind. Bei beiden Vorgängen spielt der Speichel eine wesentliche Rolle. Er ist sowohl Gleit- als auch Trennmittel und füllt den kapillaren Spalt zwischen den Mundgeweben und dem Abformwerkstoff aus. Bei Belastung im Augenblick des Trennens, läßt das notwendige Einströmen von Luft in diesem zunächst nur mit Speichel gefüllten Spalt einen Unterdruck entstehen, da ja wie bei einer Prothese durch den Materialüberschuß von einem gewissen Ventilrand gesprochen werden kann. Andererseits kommt in diesem Verbund sicherlich die Zähigkeit des Speichels, sein Muzingehalt, beim Fließen in engen Spalten zum Tragen. Beim Beginn der Belastung, also dem Abziehen des Abdrucks, kommt es geschwindigkeitsabhängig zu einem Widerstand seitens des Speichelfilms zwischen Schleimhaut und Abformmaterial, wenn dieser durch Vergrößerung des Spaltes zum Fließen gebracht werden soll.

2.2.6. ZUSAMMENFASSUNG

Zusammenfassend kann gesagt werden, daß dem Entfernen des Abformmaterials von Zähnen und Weichgeweben abhängig von der jeweiligen Topographie die Summe folgender Faktoren entgegensteht:

1. der Kohäsion im Abformmaterial,
2. der Adhäsion zwischen Abformmaterial und Mundgeweben,
3. der mechanischen Haftung durch Friktion und untersich-
gehende Stellen,
4. der verschiedenen Haftenflüsse durch die Elastizität
der Mundgewebe und die Gleit- und Trennmittel.

Die Größe dieser Teilkräfte ist nicht meßbar und bei jedem Abdruck anders.

2.3. HAFTUNG ZWISCHEN ABFORMWERKSTOFF UND ABRUCKLÖFFEL

2.3.1. ABRUCKLÖFFEL

Unter dem allgemein gebräuchlichen Begriff Abdrucklöffel verbirgt sich ein Hilfsinstrumentarium, das das Abformmaterial stützt, trägt und seine Trennung vom Abformobjekt ermöglicht, die eine formtreue, reproduzierbare Modellherstellung gewährleistet.

Der Begriff Abdrucklöffel ist in diesem Zusammenhang nicht exakt, da auch der Kupferring, das Stumpfkäppchen und andere Einzelstumpf- oder Teilkiefer-Hilfsmittel unter diese Definition fallen. Besser ist die Bezeichnung Abdruckträger (15). Abdrucklöffel ist jedoch verständlich und repräsentiert am

besten dieses Hilfsinstrumentarium.

In Anlehnung an K.KÖRBER und K.LUDWIG (10) stellt man folgende Anforderungen an Abdrucklöffel:

1. Unterstützung der Platzierung des Abformmaterials an seinen Bestimmungsort,
2. Unterstützung des Abformmaterials in der flüssigen Phase beim Anlegen an die abzuformende Oberfläche,
3. Unterstützung des Abformmaterials in der Abbindephase,
4. Verformungsfreies Entfernen des Abformmaterials vom abzuformenden Körper,
5. Unterstützung des Abformmaterials zur formtreuen Modellherstellung.

Ein Abformträger muß mechanisch und thermisch fest sein und dem Abformmaterial genügend Raum bieten. Alle diese Anforderungen werden von den wenigsten im Handel erhältlichen Systemen erfüllt. Unterschiede, die vor allem Einfluß auf das Haltevermögen des Abformmaterials haben, kann man bei den verschiedenen Abdrucklöffeln im Material, in der Form, der Oberfläche und der Randgestaltung erkennen.

2.3.1.1. MATERIAL

SCHWICKERATH (19) kommt in einer Untersuchung über die Stabilität der Abformlöffel zu dem Ergebnis, daß die E-Moduli der Löffelmaterialien, von denen die Verformung abhängt, sich zwischen Stahl, Messing und Kunststoff wie 70:35:1 verhalten. Da der Materialdicke durch die Mundverhältnisse Grenzen ge-

setzt sind, stellt unter dem Aspekt der Verformung ein Stahllöffel das Optimum dar.

REHBERG (17) fand erhebliche Unterschiede bei verschiedenen Materialien für individuelle Löffel. Er verglich Schellack, thermoplastisch verformbare- und kalthärtende Kunststoffe und erreichte die geringsten Abweichungen der Verformung bei kalthärtenden Kunststoffplatten mit einer Dicke von mehr als 2 mm. Er konstatiert, daß die Genauigkeit eines Abdrucks sehr vom verwendeten Löffelmaterial abhängt.

2.3.1.2. FORMEN

Jeder Hersteller eines konfektionierten Abdrucklöffels kon-
turiert sein Produkt anders. Dies wirkt sich aus in Unter-
schieden der vestibulären und lingualen Löffelgrenzen, in
Aussparungen für Wangen-, Lippen- und Zungenbänder, in der
Stärke der Gaumenwölbung oder in der distalen Begrenzung.
Für Abformungen des zahnlosen Kiefers stehen vielfältige
Systeme wie der Schreinemaker-, Ivo-Tray - oder der Standard-
Ehrlicke-Satz zur Verfügung. Marxkors (14) forderte als
Idealzustand eine überall gleichmäßige Schichtdicke des Ab-
formmaterials. Dies ist selbstverständlich, wenn überhaupt,
nur mit individuellen Löffeln erreichbar, wobei er der
Meinung ist, daß im teil- und vollbezahnten Gebiß ihre
Indikation sehr eng gestellt werden muß. Untersichgehende
Stellen, die eine vollkommen gleichmäßige Schichtdicke nicht
zulassen, und als weiterer Nachteil die Stabilität individuel-
ler Löffel reichen oft nicht aus. Die gleichmäßige Schicht-

dicke ist formabhängig. Sie ist Voraussetzung für eine gleichmäßige Belastung der Löffelfläche und gleichmäßigen Halt des Abformmaterials.

2.3.1.3. PERFORATIONEN

Viele Autoren empfehlen wegen der besseren Haftung perforierte Löffel zu benutzen. HUPFAUF und TOKMANN (7) kommen zu dem Schluß, daß die Größe der Haftung vom Umfang der eingestanzten Löcher abhängt. NOLTE's (15) Versuche ergaben, daß der Nutzen der Perforationen nicht zwangsläufig sein muß. Perforierte Löffel eignen sich vorwiegend für mittelfließende Materialien, da bei diesen die Abformmasse pilzförmig durch die Löcher dringt und dann eine gute mechanische Retention darstellt. Steife Materialien treten kaum durch die Löcher hindurch, da der Druck nicht ausreicht, und dünnfließende Materialien fließen aus den Löchern heraus. Insofern ist der Gebrauch perforierter Löffel für Alginat- und mittelfließende Elastomere sicher nicht falsch. K.KÖRBER (10) ist der Ansicht, daß perforierte Löffel im allgemeinen nur dazu dienen, Anschauungsmodelle zu gewinnen, bei denen es nicht auf allergrößte Präzision ankommt. Er sieht den größten Nachteil der Perforation in der Verringerung der Verformungssteifigkeit der Löffel.

2.3.1.4. RANDVERSTÄRKUNGEN

Von einigen Herstellern werden Abformlöffel angeboten, die umlaufend einen Randwulst aufweisen. Ihr Ursprung liegt im

angelsächsischen Raum und sie werden als RIM - Trays bezeichnet. Es gibt sie in Kunststoff und in Metall und sie werden immer häufiger verwendet. SCHWICKERATH (19) sieht ihre Vorteile in einer Haftverbesserung und einer Stabilitätszunahme durch den aufgewulsteten Rand.

2.3.2. ADHÄSIVLACKE

Adhäsivlacke sollen den Verbund zwischen Abformmaterial und Abformlöffel verstärken. IMMEL (8) untersuchte zwei Adhäsivlacke (Fix der Firma De Trey und Hold der Firma Codent) an Alginaten und konnte feststellen, daß sich die Haftfestigkeit bei richtiger Anwendung verdoppelte. DAVIS et alii (1) machten eine ähnliche Untersuchung an Elastomeren, wobei sie noch verschiedene Trockenzeiten und den Einfluß der Löffelmaterialien als Untergrund berücksichtigten. Auch sie konnten eine haftverbessernde Wirkung von Haftlacken bestätigen.

2.4. FESTIGKEIT DER ABFORMMATERIALIEN

Die Festigkeit des Abformmaterials wirkt sich sowohl am Abdrucklöffel als auch an den Zähnen und Weichgeweben aus. Untersichgehende Gebiete erfordern bei der Entfernung des Abdrucks eine Verformbarkeit des Abformmaterials. Dabei verformt sich ein steifes Material unter größerem Kraftaufwand früher plastisch, als ein mehr elastisches, das nach überstandener Verformung seine ursprüngliche Form wiederfindet. VIOHL (21) beschreibt, daß sich steife Materialien nur mit

großem Kraftaufwand über die Zahnwölbungen ziehen lassen. Damit muß aber ein Anstieg der Haftfestigkeit am Abformträger einhergehen. Dies läßt sich nur verwirklichen, wenn entsprechend der mechanischen Retention, die der bauchige Zahn darstellt, ausreichend mechanische und physikalisch - chemische Retentionen am Abdrucklöffel vorliegen. Eine entscheidende Rolle in dieser Frage stellt die Schichtdicke dar.

2.5. SCHICHTDICKE

Die Bedeutung der Schichtdicke für die Haftfestigkeit von Abformmaterialien ist verständlich, so man sie in Beziehung zum Verformungsverhalten setzt. Die meisten Abformsituationen weisen untersichgehende Stellen auf. Die Größe dieser Gebiete ist meßbar und liegt zwischen 0 und ca. 5 mm bei stark gekippten Zähnen. VIOHL (21) führt aus, daß das Material abhängig von der Elastizität entweder reißt oder deformiert wird. Die elastische Verformung ist abhängig von der Zeit (Belastungsgeschwindigkeit) und die plastische Verformung von dem Grad der Deformation. Beide zusammen ergeben die Gesamtverformung. Reicht die Elastizität eines Materials nicht aus, wie es bei starken Infrawölbungen und geringer Schichtdicke möglich ist, so reißt das Material entweder in sich, es löst sich vom Löffel oder es verbleibt ein Verformungsrest.

2.6. UNTERSUCHUNGEN

Viele Autoren (6, 8, 12, 15, 20, 22) haben sich in Untersuchungen mit dem Problem des Halts von Abformmaterial am Abdrucklöffel, mit Kräften, die dem Abzug von Abdrücken aus dem Munde entgegenstehen und mit Möglichkeiten, Abformergebnisse zu verbessern, beschäftigt. Ein gemeinsames Problem ist die Unfähigkeit, alle im Munde herrschenden Einflüsse in Laborversuche einzubeziehen. Die parodontale Beweglichkeit der Zähne, die Resilienz der Schleimhaut, der Speichel und die Mundtemperatur seien dafür nur als Beispiele genannt.

2.6.1. KLINISCHE UNTERSUCHUNGEN

Eine Durchsicht der einschlägigen Literatur ergibt keinen Hinweis darauf, daß sich bisher jemand systematisch mit Haftfestigkeitsmessungen von Abdrücken im Munde eines Patienten beschäftigt hat. Jedem Praktiker ist bekannt, daß der Abdruck eines bezahnten oder teilbezahnten Kiefers nicht senkrecht zur Kauebene schnell und mit ansteigender Kraft abgezogen wird, sondern es wird gehebelt, gekantet, angelüftet und herausgeschaukelt. Schon das Vorhandensein des Griffes am Abdrucklöffel läßt bei seiner Benutzung nur Hebelkräfte zu. So stellt die klinisch angewandte Methode der Entfernung eines fester sitzenden Abdruckes eine Summe von Kraftansätzen dar, die in einem objektivierbaren und meßbaren Versuchsablauf kaum zu messen sein dürften. Aus diesem

Grund ist man darauf angewiesen stilisierte Laborversuche durchzuführen. Andererseits wäre die Untersuchung dieser Problematik eine interessante Aufgabe, da viele offene Fragen beantwortet werden könnten.

2.6.2. LABORUNTERSUCHUNGEN

1. MODELLVERSUCHE

Um grundlegendes Zahlenmaterial zur Verfügung zu haben, untersuchte LEUFFEN (12) die benötigten Kräfte für die Abdrucknahme mit Elastomeren an künstlichen Zähnen und Modellen. Dabei berücksichtigte er die Art des Abformmaterials, Zahl und Stellung der Zähne, Art der Abformlöffel, verschiedene Benetzungsmittel und die Abzugszeit. Seine Ergebnisse lassen Abhängigkeiten der Abzugskräfte von der Stellung und der Anzahl der abzuformenden Zähne, vom Abformmaterial, vom Abdrucklöffelmaterial, von der Abformmaterialschichtdicke und von Gleit- und Trennmitteln zwischen Abformmaterial und Abformobjekt erkennen. Dennoch kann man aus ihnen keine direkten Rückschlüsse auf tatsächlich im Munde vorkommende Abzugskräfte ziehen.

2. HAFTFESTIGKEITSMESSUNGEN

Eine Präzisionsabformung ist nur dann als erfolgreich anzusehen, wenn die Haftkräfte der Abformmaterialien am Abdrucklöffel größer sind als die benötigten Abzugskräfte. Dies ist eine Grundforderung an jede Abformung. Im Gegensatz zu LEUFFEN

(12), der Abzugskräfte gemessen hat, sind Haftfestigkeitsmessungen von mehreren Autoren (2, 6, 8, 15, 18, 20, 22) durchgeführt worden. Die meisten Autoren (2, 6, 8, 18, 20, 22) gebrauchten Alginate für ihre Untersuchungen. Nur NOLTE (15) und LEUFFEN (12) benutzten auch Elastomere.

Im Versuchsaufbau ähneln sich DOLDER (2), HOHNEDORF (6), IMMEL (8), SCHÜLER (18) und TOKMANN (20). Ihren Versuchen liegt eine Ständerumlenkrollenkonstruktion zugrunde, bei der unterschiedliche Prüfkörper mit verschiedenen Meßverfahren zug- oder scherbelaftet werden. WILSON und SMITH (22) und NOLTE (15) benutzten hingegen eine Prüfmaschine, in der die Kraft über den Weg aufgebracht wird. Sie brachten Material im Überschuss zwischen zwei Platten, unterteilten Zug- und Scherveruche und messen mit konstanter Abzugsgeschwindigkeit. Das Meßverfahren der Prüfmaschine (15, 22) läuft über geeichte Meßösen, während andere Autoren mit Federwaagen (8, 20), durch manuelle Gewichtsauflage (2) oder mit Belastungsgefäßen, die über verschiedene Steuerungsmechanismen mit Wasser gefüllt werden (6, 18), arbeiteten. Als Abformobjekte werden Modelle (6) oder verschiedene andere Prüfkörper (2, 8, 18, 20) verwandt. Der vorliegenden Arbeit als Fortsetzung der Untersuchungen von NOLTE (15) liegt sein Versuchsaufbau zugrunde, bei dem sowohl Zug- wie Scherveruche an vier Elastomeren mit einer Prüfmaschine zwischen zwei Platten unter verschiedenen Einflüssen mit konstanter Abzugsgeschwindigkeit durchgeführt werden.

3. EIGENE UNTERSUCHUNGEN

3.1. VORVERSUCHE

3.1.1. VERSUCHSAUFBAU

Die Universalprüfmaschine Instron, Typ TT-BM, dient zur Messung bei den Abzugsversuchen. Dabei wird eine Traverse von zwei Spindeln in senkrechter Richtung bewegt, wobei die Kraft über den Traversenweg erzeugt wird. Es können Zug- und Druckversuche bis ca. 25.000 N durchgeführt werden. Die Drehgeschwindigkeit der Spindeln, die die Traverse antreiben, bestimmt die Traversenvorschubgeschwindigkeit. Diese ist stufenweise nach den jeweiligen Erfordernissen frei wählbar. Meßdosen mit unterschiedlicher Empfindlichkeit registrieren die erzeugten Kräfte. Die Prüfkörperträger werden zwischen der mobilen Traverse und der unbeweglichen Meßdose in Spannzangen eingespannt. Die Schreibereinheit der Maschine stellt graphisch ein Kraftwegdiagramm dar.

Die Abdruckträger bestehen aus

- a) einer 3 mm starken, runden, verchromten, glatten Metallplatte mit einem Durchmesser von 66,8 mm,
- b) einer 3 mm starken, runden, verchromten, perforierten Metallplatte mit demselben Durchmesser und
- c) einer trapezförmigen Metallplatte, die zur Befestigung von konfektionierten oder einzeln hergestellten Kunststoffplatten dient.

Mittig rechtwinklig angelötet an die Metallplatten sind ca. 10 cm lange Vierkanteisen 10 mm mal 10 mm, die als Einspannstücke in die Spannzange der Maschine dienen. Der Durchmesser der runden Platten entspricht mit einer Fläche von 35 cm² der Fläche eines OK-Abdrucklöffels Ehrlichs Größe 2. Die Oberflächen der Abformträger sind entsprechend den metallenen Abdrucklöffeln verchromt. Die individuellen Kunststoffplatten mit einer Fläche von 52 cm² haben dieselbe Grösse wie die konfektionierten, fabrikmäßig hergestellten, unveränderten OK-Platten der Firma Heko, Berlin. Sie werden mit M3 - Schrauben, deren Köpfe abgeflacht sind, auf dem trapezförmigen Träger aufgeschraubt. Für die Scherversuche ist rechtwinklig zum Vierkanteisen eine Metallasche auf den Metallplatten angebracht. Diese Metallasche hat eine Gewindebohrung M8, an der ein zusätzliches Einspannstück so befestigt werden kann, daß durch die Verwendung von Distanzstücken entsprechend der Schichtdicke des Abformmaterials die Kraft über die gedacht verlängerte Mittelachse hinaus jeweils in Schichtmitte der Proben angreift. Dadurch werden Fehler durch Verkanten beim Umspannen vermieden. Diesen Abformmaterialträger zeigt Abb. 1. Dazu wird die Traverse der Prüfmaschine mit der Spannzange weit genug von der an der Meßdose befestigten Spannzange auseinandergefahren. Die Abformträger werden in die Spannzangen eingespannt und parallel und bündig ausgerichtet. Der gewünschte Abstand der Platten zueinander - die spätere Materialschichtdicke - wird eingestellt. Anschließend wird die Distanz wieder ver-

größert, um das Abformmaterial einbringen zu können. Die Maschine fährt dann mit vorgewählter konstanter Geschwindigkeit von 200 mm/min die Abformträger auf den festgelegten Abstand zusammen. Das im Überschuß angemischte Material quillt dabei am Rande und gegebenenfalls aus den Perforationen heraus. Nach beendetem Abbindevorgang findet die eigentliche Kraftmessung statt. Nur bei den Scherversuchen muß das durch das Abformmaterial miteinander verbundene Abformträgerpaar umgespannt - um 90° gedreht - werden. Die Traverse entfernt sich mit konstanter Geschwindigkeit von 10 mm/min von der Meßdose und übt dabei über die in den Spannzangen fest eingeklemmten Abformträger eine Zug- oder Scherkraft auf das anhaftende Abformmaterial aus. Die Schreibeinheit zeichnet die ansteigende Belastung bis zum Lösen des Abformmaterials. Der Maximalwert der gemessenen Kraft stellt die größte Haftfestigkeit des Abformmaterials zwischen den beiden Trägerplatten dar.

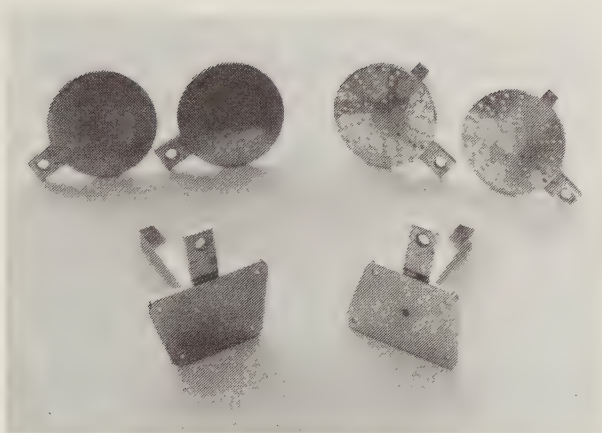


Abb. 1 Je zwei glatte und perforierte runde verchromte
Abformmaterialträger sowie die trapezförmigen
Träger für die Kunststofflöffelplatten.

3.1.2. MATERIALAUSWAHL

Ziel dieser Untersuchung ist es im weiteren Sinne, den Präzisionsabdruck zu vervollkommen. Nach VIOHL (20) sind in Bezug auf die Detailwiedergabe die Elastomere allen anderen Materialien überlegen. Eine Untersuchung von FUCHS (4) ergab, daß Elastomere am häufigsten in deutschen Praxen für Präzisionsabformungen benutzt werden. Für die Versuche werden aus diesem Grund nur Elastomere verwandt. Es kommen ein knetbares Silikon (Optosil plus), ein mittelfließendes (Lastic) und ein dünnfließendes (Xantopren blau) sowie ein Polyäthergummi (Impregum) zur Anwendung. Die Auswahl berücksichtigt Beispiele häufig verwendeter Fabrikate und Vertreter der verschiedenen Konsistenzen (knetbar, mittelfließend, dünnfließend). Damit ist dem Einfluß der Viskosität des Abformmaterials Rechnung getragen.

3.1.3. WAHL DER SCHICHTDICKEN

Um den Einfluß unterschiedlicher Schichtdicken des Abformmaterials auf die Haftfestigkeit zu messen, sind verschiedene, von der praktischen Abformung abzuleitende und im Experiment einfach zu reproduzierende Schichtdicken festzulegen. Der Versuchsaufbau gestattet es nicht, kleinere Schichtdicken als 2 mm auszupressen, da sich die abgeflachten Schraubenköpfe bei der Verwendung der Kunststofflöffel-

platten, die etwas das Niveau der Platten überschreiten, berühren würden. Deshalb wird als geringste Schichtstärke 2 mm verwandt. Da signifikante Unterschiede im linearen Anstieg der Schichtdicke nicht zu erwarten sind, werden als weitere Meßgrößen 4 mm und 8 mm ausgewählt. Wie aus Tab. 1 ersichtlich, sind deutliche Unterschiede nur zwischen den 2 - und 8 mm - Werten erkennbar.

	2 mm	4 mm	8 mm	3 mm Diss. Nolte
$\bar{x}$	11,7	7,7	6,4	38,6
s	1,1	0,9	0,9	3,5
V	9,3	11,3	13,9	9,0

Tab. 1 Zugfestigkeit in N/cm^2 von jeweils 10 Versuchen bei Abformmaterialsichten (Optosil plus) von 2, 4, 8 und 3 mm. Die Werte für eine Schichtdicke von 3 mm sind der Diss. NOLTE (15) entnommen. Träger: glatte verchromte Platten mit 66,8 mm Durchmesser mit Adhäsivlack. $\bar{x}$ = Mittelwert, s = Standardabweichung, V = Variationskoeffizient in %.

Eine Schichtdicke von 8 mm stellt bei dieser Versuchsanordnung nahezu das Maximum dar, da bei der Größe der Abformplatten eine derartige Menge an Abformmaterial innerhalb der vom Hersteller angegebenen Zeit homogen durchgemischt werden muß. Besonders ist die Durchmischung der Massen von hoher Konsistenz, also den Knetbaren, nur mit Kraft und Übung möglich.

3.1.4. ERWEITERUNG DES VERSUCHSAUFBAUS

Während der Vorversuche zeigt es sich, daß mit den leicht- und mittelfließenden Materialien keine verwertbaren 8 mm - Proben hergestellt werden können. Die angemischten Massen fließen während der Abbindephase zwischen den Abformträgerplatten heraus. Es bilden sich größere Blasen, und es entstehen damit fehlerhafte Proben. Zu diesem Zweck wird für die kreisförmigen Abformträgerplatten eine trichterförmige Hilfskonstruktion aus Messing benutzt (Abb. 2), die mit dem an der Traverse eingespannten Abformträger bündig abschließt und sich nach oben trichterförmig öffnet. So kann das angemischte Abformmaterial in dieses wannenähnliche Werkstück eingefüllt werden, ohne zu den Seiten wegzufließen. Im weiteren Versuchsablauf werden die Abformträger auf den Abstand von 8 mm angenähert, das überschüssige Material quillt über den 10 mm hohen Rand der Hilfskonstruktion über, ohne unter Druck zu geraten, und der Abbindevorgang kann einsetzen. Die Hilfskonstruktion ist teilbar. Dadurch kann sie vorsichtig nach dem Abbinden abgenommen werden, Überschüsse werden randbündig mit dem Skalpell entfernt, und der eigentliche Abzugversuch kann beginnen.

Die trapezförmigen Kunststoffträgerplatten erfordern eine separate Konstruktion (Abb. 2). Da eine weitere metallene Ausführung zu aufwendig erscheint, kommt folgende Lösung zur Anwendung. In Form der trapezförmigen Löffelplatten wird eine ca. 10 mm starke Holzschablone hergestellt. Um diese Schablone wird

eine Schlauchschelle im Abstand von 10 mm angepaßt. Zwischen Schlauchschelle und Schablone wird zum einen angemischtes Optosil plus, zum anderen Impregum gefüllt. Nach dem Abbinden der Materialien wird die Holzschablone entfernt und die elastische Bandage aus Abformmaterial mit dem Skalpell schräg zum Rand ähnlich wie bei der runden Konstruktion beschnitten. Für die Silikone kann nun die Polyäther-Hilfskonstruktion und für Impregum die Silikon-Hilfskonstruktion verwandt werden.

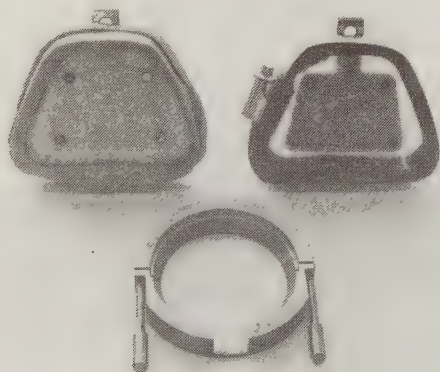


Abb. 2 Die Hilfskonstruktion zur Herstellung der dicken Proben.

1. oben links : Optosilgürtel an montierter Platte, Autopolymerisatplatte
2. oben rechts: Impregumgürtel mit Schlauchschelle an montierter Heko-Basis-Platte
3. unten : zerlegbarer Messingring für runde Platten

3.1.5. HERSTELLUNG UND VORBEREITUNG DER KUNSTSTOFFLÖFFELPLATTEN

Zur Prüfung der Haftfestigkeit von Abformmaterial an individuellen Kunststoffplatten aus Kunststoff werden aus Formatray der Firma Kerr Platten entsprechend der Größe und Dicke der konfektionierten Platten der Firma Heko hergestellt. Zur Verbindung dieser Platten mit den trapezförmigen Abformträgern muß nach dem Lochmuster in den Metallträgern eine Schablone angefertigt werden, die eine für alle Platten gleiche Verteilung der Löcher gestattet.

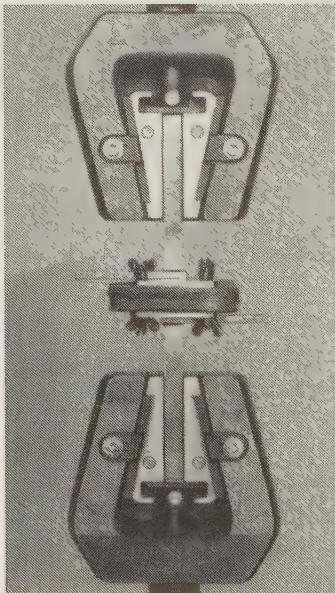


Abb. 3

In die Spannzange der Prüfmaschine eingespannte montierte Kunststoffplatten im Zugversuch mit 8 mm Abstand.

Andernfalls wären die Plattenpaare montiert und in der Prüfmaschine eingespannt nicht randbündig. Die Platten werden so markiert und mit einem Loch von 4 mm Durchmesser versehen. Jetzt besteht die Möglichkeit, die Kunststoffplatten auf den trapezförmigen Abformträgern mit M3 - Schrauben, die zur Versuchsseite hin plan geschliffene Schraubenköpfe besitzen, mit Flügelmuttern auf der Rückseite zu verschrauben (Abb. 3).

3.1.6. WAHL DER MATERIALMENGE

Um den Einfluß eventuell unterschiedlich angemischter Materialien für die dicken und die dünnen Proben abhängig von der Materialmenge zu bestimmen, werden drei Versuchsreihen mit Optosil plus durchgeführt. Dabei wird einmal für beide Schichtdicken die gleich große, das andere Mal für die dünne Probe eine entsprechend reduzierte Materialmenge verwandt. Es stellt sich heraus, daß kein signifikanter Unterschied der Haftfestigkeitswerte abhängig von der angemischten Materialmenge für die 2 mm - Proben besteht. Aus Gründen der Materialersparnis werden die Versuche fortan mit den gerade benötigten Materialmengen zuzüglich eines angemessenen Überschusses fortgesetzt.

3.2. HAUPTVERSUCHE

3.2.1. VERSUCHSMATERIALIEN

Eine Übersicht über die Versuchsmaterialien gibt die Tab. 2:

Material	Hersteller	Basispaste	Aktivator	Adhäsiv
OPTOSIL PLUS	Bayer	9168 K	8866 N	45209 N
XANTOPREN blau	Bayer	9039 N	8866 N	45209 N
LASTIC	Kettenbach	3114	3031	3123
IMPREGUM	Espe	0324	0082	0007

Tab. 2 Chargennummern von Basispaste, Aktivator und Adhäsiv der untersuchten Materialien.

3.2.2. VERSUCHE

Folgende Variable werden in den Versuchen berücksichtigt:

- a) 2 Schichtdicken : 2 mm, 8 mm
- b) 4 Materialien : Optosil plus, Lastic, Xantopren blau, Impregum
- c) 2 Kraftansätze : Zug- und Scherbelastung
- d) Adhäsiv : mit - ohne
- e) 4 Abformträgerpaare : Metall glatt rund
Metall perforiert rund
vorgefertigte trapezförmige Löffelplatten
trapezförmige Löffelplatten aus Autopolymerisat

Von 128 theoretisch möglichen Kombinationen werden 68 Versuchsreihen à 10 Versuchen ausgewählt (Tab. 3). Es werden die Versuchsreihen weggelassen, die aus klinischer Sicht unsinnig erscheinen oder aufgrund früherer Untersuchungen (15) technisch nicht erfolgreich durchgeführt werden können. Die Erläuterung der Abbildung ist der Tab. 4 zu entnehmen.

	OPTOSIL PLUS		XANTOPREN blau		LASTIC		IMPREGUM	
	2 mm	8 mm	2 mm	8 mm	2 mm	8 mm	2 mm	8 mm
M g m Z	X	X	X	X			X	X
M g m S	X	X	X	X			X	X
M g o Z	X	X	X	X			X	X
M g o S	X	X	X	X			X	X
M p m Z	X	X					X	X
M p m S	X	X					X	X
M p o Z	X	X					X	X
M p o S	X	X					X	X
K g m Z			X	X	X	X		
K g m S			X	X	X	X		
K g o Z			X	X	X	X	X	X
K g o S			X	X	X	X		
K i m Z					X	X	X	X
K i m S					X	X	X	X

Tab. 3 Versuchsreihenübersicht der vier Abformmaterialien im Zug- und Scherversuch mit jeweils zwei Schichtdicken an vier Abformträgern mit und ohne Adhäsiv.

M	=	Metallträger
K	=	Kunststoffträger
g	=	glatter Abformmassenträger
p	=	perforierter Abformmassenträger
m	=	mit Adhäsiv
o	=	ohne Adhäsiv
i	=	individuell
Z	=	Zugversuch
S	=	Scherversuch
2	=	2 mm Schichtdicke
8	=	8 mm Schichtdicke
Opt	=	Optosil plus
Xan	=	Xantopren blau
Las	=	Lastic
Imp	=	Impregum
$\bar{x}$	=	Mittelwert in N/cm ²
s	=	Standardabweichung in N/cm ²
V	=	Variationskoeffizient in %
n	=	Anzahl der Versuche

Tab. 4 Erläuterung der Abkürzungen in den Tabellen und
Abbildungen

3.2.3. VERSUCHSBEDINGUNGEN

Die Standard-Versuchsbedingungen sind nachfolgender Tab. 5 zu entnehmen:

Temperatur	:	23 $\pm$ 1 °C
Luftfeuchtigkeit	:	55 $\pm$ 5 %
Anfahrsgeschw.	:	200 mm/min
Abzugsgeschw.	:	10 mm/min
Anmischzeit	:	45 s
Abbindezeit	:	7 min nach Mischbeginn
Umspannen für		
Scherversuch nach	:	5,5 min nach Mischbeginn
Entfernen der		
Randüberschüsse	:	4 min nach Mischbeginn
Adhäsivtrockenzeiten	:	Bayer- und Impregumadhäsiv 2 min
		Reto-Haftlack 20 min

Mischungsverhältnis Basispaste/Aktivator in Gramm

	2 mm		8 mm	
	Metall	Kunststoff	Metall	Kunststoff
OPTOSIL PLUS	20/0,5		70/1,5	
XANTOPREN blau	20/2	30/3	60/6	60/6
LASTIC		30/0,5		90/1,5
IMPREGUM	20/2,8	25/3,5	50/7	70/9,8

Tab. 5 Standardversuchsbedingungen, Zeiten und Dosierungen für die Versuchsdurchführung.

3.2.4. VERSUCHSABLAUF

Die für den jeweiligen Versuch benötigten Abformträger werden ausgewählt und in den Spannngen der Prüfmaschine parallel ausgerichtet eingespannt. Der Mindestabstand der Platten wird entweder auf 2 mm oder auf 8 mm eingestellt, bevor die Maschine in 30 cm Abstand Ausgangsstellung gebracht wird. Abhängig vom jeweiligen Versuch kann nun die Hilfskonstruktion bei Bedarf befestigt werden. Die Metallplatten werden mit Aceton gereinigt, mit Spiritus entfettet, während die Kunststoffplatten einmalig verwendet werden. Anschließend kann je nach Versuchsreihe der Adhäsivlack aufgebracht werden. Während seiner Trocknungszeit wird das jeweilige Abformmaterial auf einer elektronischen Waage auf dem Anrührblock auf 0,01 g genau ausgewogen. Ist die Adhäsivtrockenzeit von 2 oder 20 min beendet, wird direkt neben dem Material die entsprechende Katalysatormenge ausgewogen. Unter Kontrolle einer Stoppuhr wird nun die Basispaste mit dem Härter gemäß den Herstellerangaben zu einer homogenen Masse angemischt. Nach 45 Sekunden wird die Masse auf die untere Trägerplatte aufgebracht und die Maschine auf den vorgesehenen Plattenabstand zusammengefahren. Das überschüssige Material wird 4 min nach Mischbeginn entfernt und die Probe bei Bedarf 5,5 min nach Mischbeginn für den Scherversuch umgespannt.

Generell sieben Minuten nach Mischbeginn wird der Zug- oder Scherversuch gestartet. Die Traverse bewegt sich da-

bei mit 10 mm/min nach unten, während die Schreibereinheit den Weg und die erzeugten Kräfte registriert. Der Höchstwert wird abgelesen und protokolliert.

4. ERGEBNISSE

4.1. ALLGEMEINE ERGEBNISSE

Die Haftfestigkeit zwischen Abformmaterial und Abformträger unterliegt großen Schwankungen. So wurden sieben Versuchsreihen abgebrochen, weil einerseits die Haftfestigkeit so gering ist, daß sich während des Umspannens das Material vom Träger löst, andererseits übersteigen die Haftkräfte den Verbund der montierten Kunststoffplatten, so daß diese zerstört wurden.

4.2. MESSERGEBNISSE

Tab.6 gibt einen Überblick über die Ergebnisse der 613 durchgeführten Versuche.

Tab. 6 Haftfestigkeit von vier elastomeren Abformmaterialien.



Zur Erklärung der Abkürzungen siehe Tab. 4.

MATERIAL Abform- Kraft träger				SCHICHTDICKE							
				2 mm				8 mm			
				$\bar{x}$	s	V%	n	$\bar{x}$	s	V%	n
<u>Optosil</u>	M g m	Zug		11,7	1,1	9,3	10	6,4	0,9	13,9	10
	M g m	Scher		17,4	1,9	11,2	10	7,6	1,6	20,9	10
	M g o	Zug		9,4	0,8	8,7	10	5,6	1,2	22,1	8
	M g o	Scher		$0,06 < \bar{x} < 1,3$			3	$0,07 < \bar{x} < 1,3$			3
	M p m	Zug		15,6	2,1	13,1	10	8,5	1,0	12,2	10
	M p m	Scher		16,5	1,7	10,0	10	8,3	1,6	19,6	10
	M p o	Zug		13,2	1,6	12,4	10	9,1	1,4	15,2	10
	M p o	Scher		10,1	3,4	33,9	10	8,1	0,6	8,2	10
<u>Xantopren</u>	M g m	Zug		20,5	1,7	8,2	10	14,9	2,2	14,5	10
	M g m	Scher		9,7	1,1	11,8	10	7,1	0,5	7,7	10
	M g o	Zug		8,0	1,3	16,7	10	2,6	0,6	24,7	10
	M g o	Scher		$0,06 < \bar{x} < 1,3$			3	$0,07 < \bar{x} < 1,3$			3
	K g m	Zug		6,8	1,0	15,0	10	7,4	0,4	6,0	10
	K g m	Scher		4,4	0,6	13,4	10	3,6	0,5	15,4	10
	K g o	Zug		3,0	0,5	16,9	10	1,8	0,2	12,2	10
	K g o	Scher		4,4	0,6	13,9	10	$0,07 < \bar{x} < 1,3$			5
<u>Lastic</u>	K g m	Zug		8,4	1,1	13,1	10	7,0	0,4	5,7	10
	K g m	Scher		7,7	1,0	12,6	10	6,3	1,0	16,0	10
	K g o	Zug		4,7	0,7	14,0	10	3,4	0,6	17,2	10
	K g o	Scher		5,0	0,6	11,1	10	4,8	0,5	10,7	10
	K i m	Zug		8,9	0,4	4,9	10	7,4	1,1	14,7	10
	K i m	Scher		11,2	1,0	9,3	10	7,5	1,0	12,9	10
<u>Impregum</u>	M g m	Zug		49,3	4,2	8,6	10	25,4	2,4	9,5	10
	M g m	Scher		29,1	3,1	10,7	10	19,4	2,1	10,7	10
	M g o	Zug		36,7	3,1	8,4	10	17,6	3,3	18,6	10
	M g o	Scher		14,2	5,1	35,9	10	4,2	0,8	20,3	10
	M p m	Zug		36,8	3,5	9,6	10	26,3	1,6	5,9	10
	M p m	Scher		27,5	4,9	17,8	10	17,3	2,0	11,6	10
	M p o	Zug		24,5	6,2	25,1	10	7,9	1,1	13,8	10
	M p o	Scher		18,5	4,2	22,8	10	6,9	2,0	29,6	10
	K g o	Zug		12,9	1,0	7,8	10	10,8	1,5	13,4	10
	K i m	Zug		18,7	0,8	4,2	4	17,7	0,7	3,7	4
	K i m	Scher		25,5	3,0	11,7	10	19,4	1,8	9,4	10

Die Meßergebnisse sind aus dem Höchstwert der Abzugskräfte des jeweiligen Abformmaterials bezogen auf die Querschnittsfläche der Abformträgerplatten gebildet. Das ist vielfach nicht gleichzusetzen mit dem vollkommenen Lösen des Materials vom Träger und ist oftmals auch nicht visuell erkennbar.

Da die Fläche der Prüfkörper verschieden groß ist, ergibt sich für die runden Abformträger mit 35 cm^2 Flächeninhalt ein anderer Umrechnungsfaktor, als für die Kunststoffträger mit 52 cm^2 . Die Meßwerte werden in Kilopond abgelesen und stellen die Haftkraft der gesamten Querschnittsfläche dar. Sie werden mit dem jeweiligen Faktor in N/cm^2 umgerechnet.

4.3. STATISTISCHE ÜBERPRÜFUNG

Die in den einzelnen Versuchsreihen ermittelten Meßwerte sind wie jede Messung in einem gewissen Maße fehlerhaft. Mit Hilfe der Statistik werden daher die Abweichungen auf die statistische Wahrscheinlichkeit und Irrtumswahrscheinlichkeit geprüft (23).

Eine Versuchsreihe besteht aus $n = 10$ Versuchen. Aus den Einzelwerten der Proben wird der Mittelwert $\bar{x}$ ermittelt. Er stellt die mittlere Haftfestigkeit dar. Mit Hilfe der Standardabweichung s wird der Streubereich bestimmt. Außerdem wird zur besseren Vergleichbarkeit der Variationskoeffizient V berechnet. Für jede gewünschte Wahrscheinlichkeit legt die t -Verteilung einen Faktor fest, den t -Wert. Die Irrtumswahrscheinlichkeit wird in diesem Fall auf 5 % festgelegt.

Die statistische Wahrscheinlichkeit ist danach also 95 %. Nach dem t-Test kann man berechnen, wie groß der Bereich um den arithmetischen Mittelwert $\bar{x}$ wird, in dem der genaue Mittelwert liegt. Mit dem t-Test für zwei Versuchsreihen lassen sich mittels eines speicherfähigen Rechners recht unkompliziert die Mittelwerte mit ihren Standardabweichungen auf signifikante Unterschiede vergleichen. Dabei wird jeder Ergebnisvergleich von zwei Versuchsreihen, der die Signifikanzschranke von 95 % überschreitet, als signifikant angesehen und dementsprechend ausgewertet.

4.4. BESCHREIBUNG DER ERGEBNISSE

Die Ergebnisse der Tab. 6 sind in den Diagrammen der Abb. 5 - 14 dargestellt. Die höchsten gemessenen Haftfestigkeitswerte werden mit Impregum am glatten Metallträger mit Adhäsiv im Zugversuch mit 2 mm Schichtdicke erzielt. Die Werte für Impregum unterliegen der größten Streuung, sie reichen im Mittel von $4,2 \text{ N/cm}^2$ bis $49,3 \text{ N/cm}^2$. Die niedrigsten Werte erzielte Xantopren blau mit 8 mm Schichtdicke, dem glatten Kunststoffträger ohne Adhäsiv im Zugversuch ($1,8 \text{ N/cm}^2$). In diese Werte gehen die nicht durchführbaren Versuche nicht ein. Es sind dies die Scherversuche am glatten Metallträger ohne Adhäsiv für 2 mm und 8 mm bei Optosil plus und Xantopren blau, sowie ebenso bei Xantopren blau am glatten Kunststoffträger ohne Adhäsiv im 8 mm - Scherversuch. Diese fünf Versuchsreihen wurden vorzeitig abgebrochen, da es unmöglich war, das Umspannen durchzuführen, ohne daß es zum vorzeitigen

Lösen eines Trägers kam. Die Tab. 6 gibt dort keinen Mittelwert an, sondern einen abgeschätzten Wert zwischen dem in N/cm^2 umgerechneten Gewicht eines Abformträgers und dem absolut geringsten Wert, der unter sämtlichen durchgeführten Versuchen gemessen wird. Zwei weitere Versuchsreihen, die auch vorzeitig beendet wurden, wurden mit Imprégum in beiden Schichtstärken am individuellen Kunststoffträger mit Adhäsiv im Zugversuch durchgeführt. Das Abformmaterial haftete an den Platten so stark, daß die Platten aus ihrer Schraubverankerung, mit der sie am trapezförmigen Metallträger befestigt waren, herausbrachen, Abb. 4.

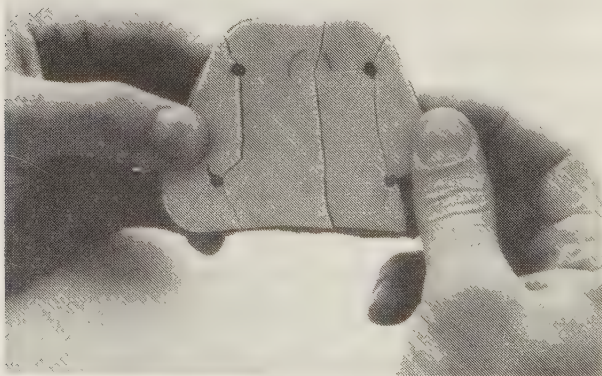


Abb. 4 Gebrochene und ausgerissene Kunststoffplatten aus Formatray bei Verwendung von Imprégum im Zugversuch mit Adhäsiv.

Die Haftfestigkeit liegt somit über der Bruchfestigkeit des Löffelmaterials. Abb. 5 gibt Aufschluß über die Bandbreite der gemessenen Werte. Die geringste Streuung weist Lastic auf, die größte Impregum.

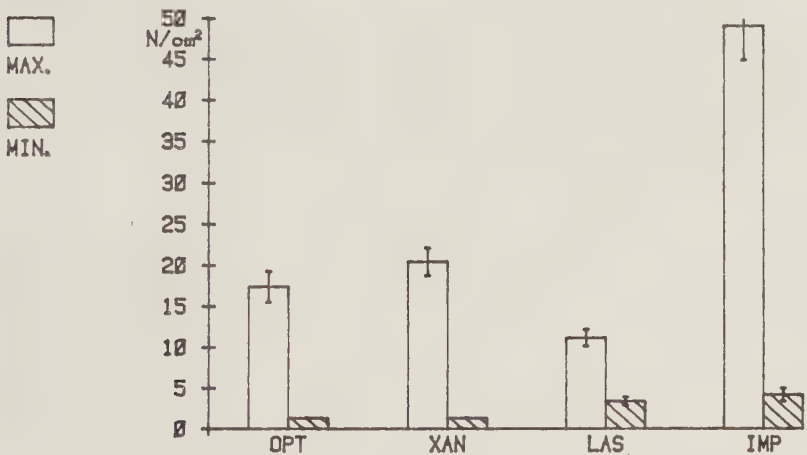


Abb. 5 Maximal- und Minimalwerte der Haftfestigkeit der vier untersuchten Abformmaterialien.

4.5. VERGLEICH DER ERGEBNISREIHEN

4.5.1. SCHICHTDICKE

Die 33 Versuchsreihenpaare, in denen lediglich die Schichtdicke unterschiedlich ist, zeigen bis auf 5 Paare, die eine Irrtumswahrscheinlichkeit über 5 % aufweisen, eindeutig höhere Haftfestigkeitswerte für die 2 mm - Schichtstärke. Die Werte für die 8 mm - Versuche betragen im Vergleich zu den Werten der 2 mm - Versuche (=100 %):

beim Optosil plus	80 - 43 %,
bei Xantopren blau	108 - 32 %,
bei Lastic	83 - 66 %,
bei Impregum	83 - 29 %.

Die Abb. 6 - 9 geben einen Überblick über sämtliche Versuchspaare. Bei Optosil (Abb. 6) ist ersichtlich, daß lediglich am glatten Metallträger ohne Adhäsiv kein signifikanter Unterschied besteht. Ebenso verhält es sich bei Xantopren blau (Abb. 7), wobei bei diesem Material am glatten Kunststoffträger mit Adhäsiv die Haftfestigkeit bei 8 mm Schichtdicke über der von 2 mm Schichtdicke liegt. Bei Lastic (Abb. 8) sowie bei Impregum (Abb. 9) ist bei allen Vergleichspaaren ein höherer Haftfestigkeitswert für 2 mm Schichtdicke ersichtlich.

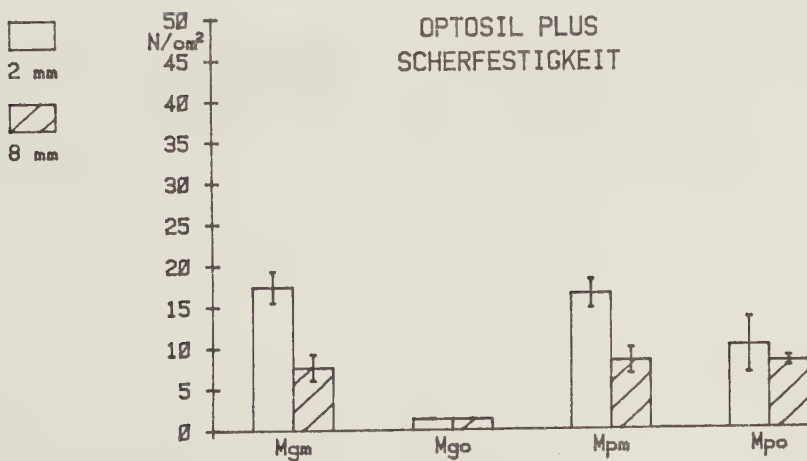
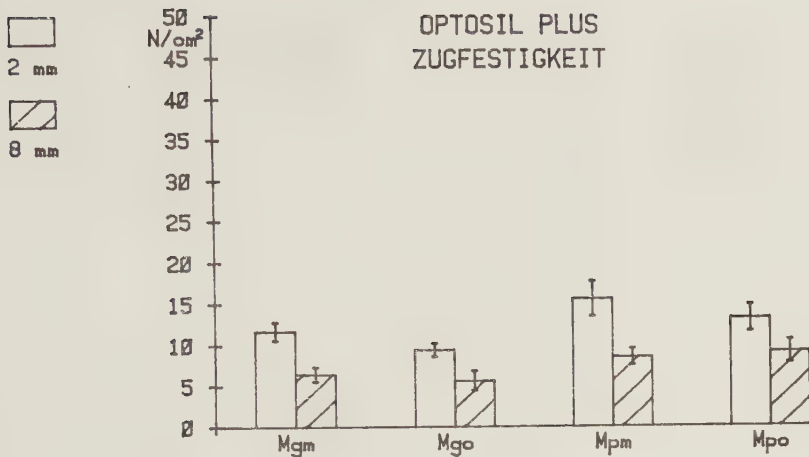


Abb. 6 Zugfestigkeit und Scherfestigkeit von Optosil plus an glatten und perforierten Metallträgern mit und ohne Adhäsiv in 2 mm und 8 mm Schichtdicke in N/cm^2 .

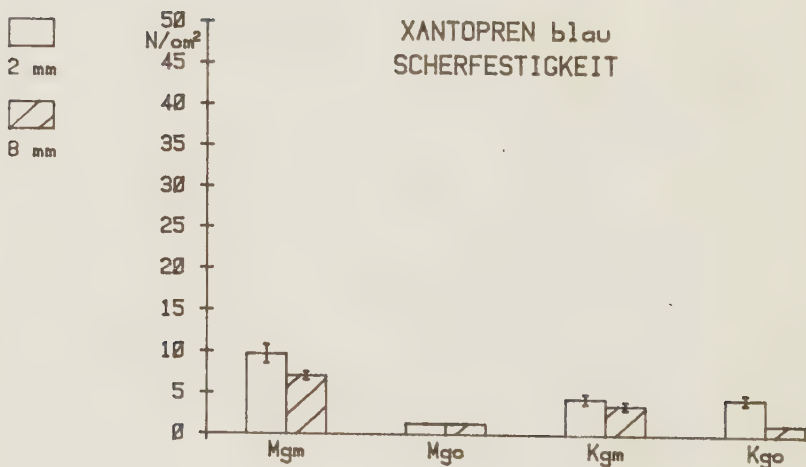


Abb. 7 Zugfestigkeit und Scherfestigkeit von Xantopren blau in 2 mm und 8 mm Schichtdicke am glatten Metallträger und am glatten Kunststoffträger mit und ohne Adhäsiv in N/cm^2 .

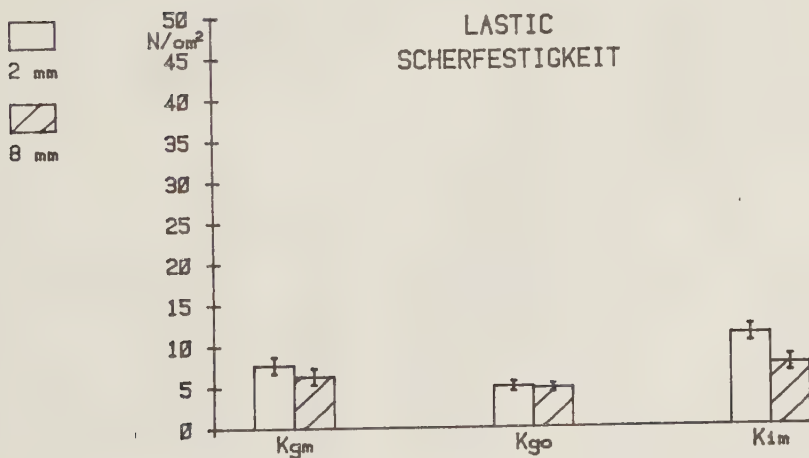
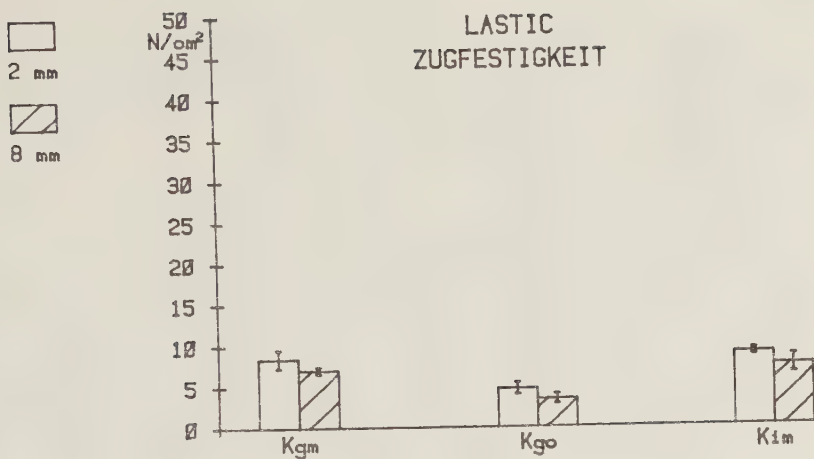


Abb. 8 Zugfestigkeit und Scherfestigkeit von Lastic in 2 mm und 8 mm Schichtdicke an glatten und an individuell hergestellten Kunststoffträgern mit und ohne Adhäsiv in N/cm^2 .

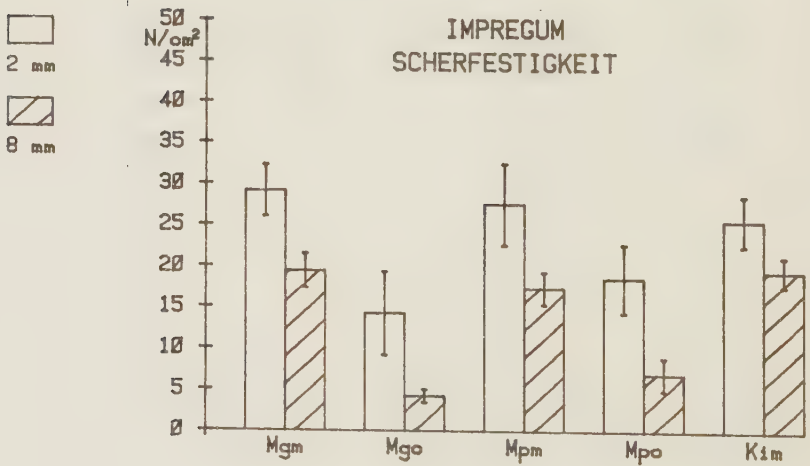
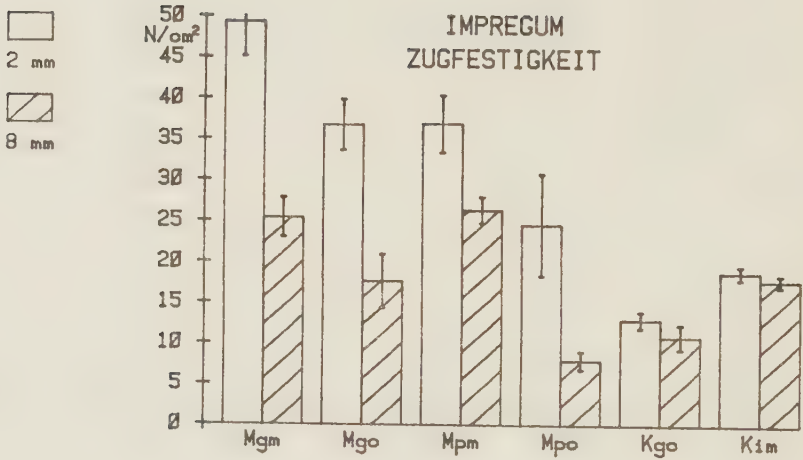


Abb. 9 Zugfestigkeit und Scherfestigkeit von Impregum in 2 mm und 8 mm Schichtdicke am glatten und perforierten Metallträger sowie am individuell hergestellten Kunststoffträger mit und ohne Adhäsiv in N/cm^2 .

4.5.2. ABFORMMATERIALIEN

Beim Vergleich der Abformmaterialien in der Tab. 6 und der Tab. 10 und 11 ist die herausragende Haftfestigkeit des Polyäthers Impregum vor den drei Silikonen ersichtlich. Die Werte für Impregum liegen bis auf Ausnahmen (Tab. 6) in Bereichen, in die keine Spitzenwerte der Silikone hineinreichen. Abb. 10 zeigt im Vergleich des mittelfließenden Lastic zu Impregum unter sonst gleichen Bedingungen eine durchschnittlich doppelt so hohe Haftfestigkeit des Polyäthers. Die Silikone untereinander (Abb. 5 - 9) lassen keine Aussage hinsichtlich der Beeinflussung der Haftfestigkeit durch ihr Fließverhalten oder ihre Festigkeit zu.

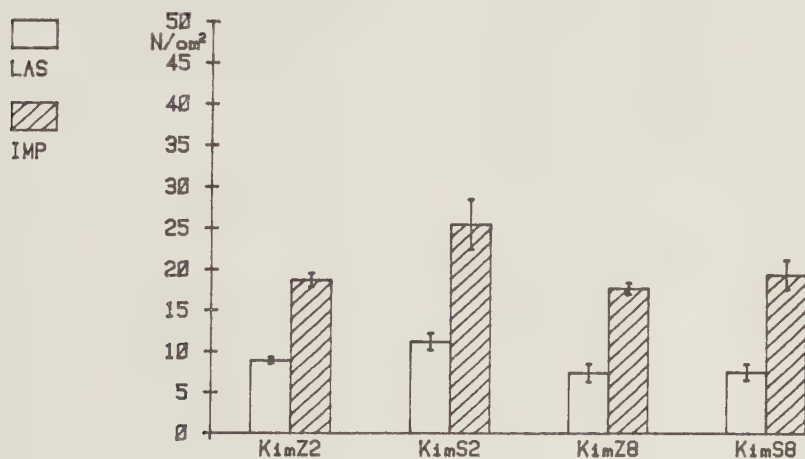


Abb. 10 Vergleich der Haftfestigkeit zwischen Impregum und Lastic in 2 mm und 8 mm Schichtdicke am individuell hergestellten Kunststoffträger mit Adhäsiv im Zug- und Scherversuch.

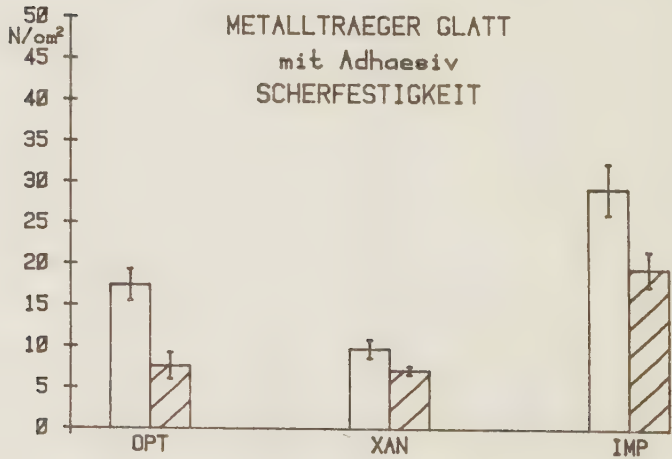
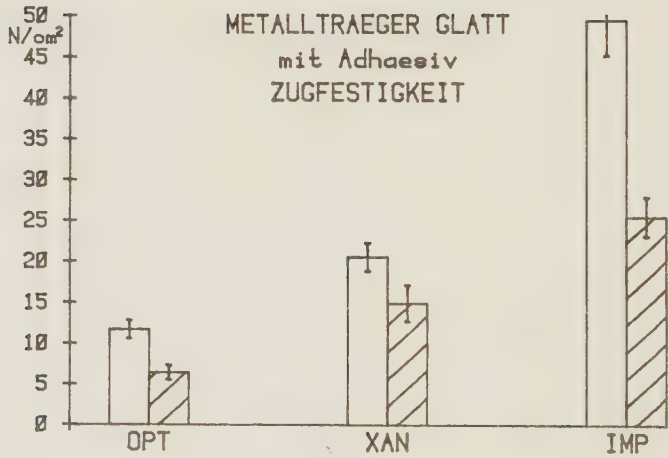


Abb. 14 Vergleich der Zug- und Scherfestigkeit der Abformmaterialien Optosil plus, Xantopren blau und Impregum mit 2 mm und 8 mm Schichtdicke am glatten Metallträger mit Adhäsiv.

4.5.3. ZUG - und SCHERVERSUCHE

Die Abb. 12 verdeutlicht für die vier untersuchten Materialien an zwei Beispielen, die jeweils widersprüchlich sind, daß eine eindeutige Aussage über die Haftfestigkeit abhängig von der Belastungsart nicht getroffen werden kann. Einmal übersteigt die Zug- die Scherfestigkeit, das andere Mal die Scher- die Zugfestigkeit, oder die Werte liegen sehr dicht beeinander wie bei Lastic. Lediglich bei Impregum verfälscht die graphische Darstellung das Ergebnis. Bei diesem Material liegt generell die Zugfestigkeit über der Scherfestigkeit. Die Säule des Diagramms in Abb. 12: 'Individueller Kunststoffträger mit Adhäsiv bei 2 mm Schichtstärke im Zugversuch (Kim 2)' läßt nicht erkennen, daß der gemessene Wert unter der möglichen Zugfestigkeit liegt, da ja bei diesen Versuchen die Platten ausgebrochen sind. Insofern ist auch hier zu vermuten, daß die Zugfestigkeit über der Scherfestigkeit liegt. Zusammenfassend ist also folgende Aussage möglich: Bei den Silikonen ist kein Unterschied hinsichtlich der Belastungsart zu erkennen, beim Polyäther liegt die Zug- über der Scherfestigkeit.

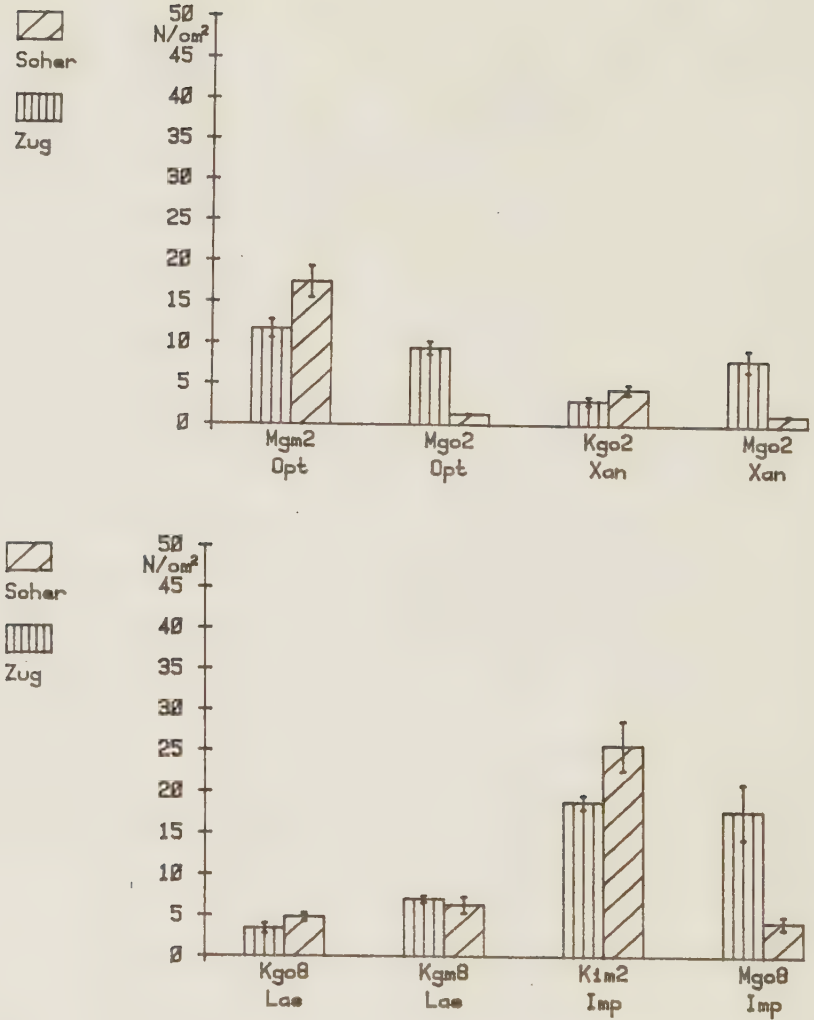


Abb. 12 Vergleich der Zugfestigkeit mit der Scherfestigkeit der Abformmaterialien Optosil plus, Xantopren blau, Lastic und Impregum an verschiedenen Abformträgern mit und ohne Adhäsiv in verschiedenen Schichtdicken.

4.5.4. PERFORATIONEN

Im Vergleich der Meßpaare, die am glatten und am perforierten Träger unter sonst gleichen Bedingungen vorgenommen werden, kann nur beim knetbaren Silikon ohne Adhäsiv von einer haftverbessernden Wirkung der Perforationen gesprochen werden. Sonst sind die perforierten Träger nicht signifikant besser. Die aus klinischer Sicht bestehende Vermutung, daß perforierte Löffel den mit Adhäsiv benetzten glatten Löffeln hinsichtlich der Haftfestigkeit des Abformmaterials am Löffel überlegen oder ebenbürtig sind, läßt sich aufgrund vorliegender Untersuchung für Elastomere nicht bestätigen.

4.5.5. LÖFFELMATERIAL

Abb. 13 zeigt am Beispiel des Xantopren blau, daß die Haftfestigkeit des Abformmaterials am Metallträger größer ist als am Kunststoffträger unter sonst gleichen Bedingungen. Die Werte für die Kunststoffträger betragen 69 % bis 33 % der entsprechenden Metallträger. Ausgenommen aus diesem Vergleich sind die individuell hergestellten Kunststoffplatten. Die Haftfestigkeitswerteliegen hier in der Tendenz über denen der konfektionierten Platten.

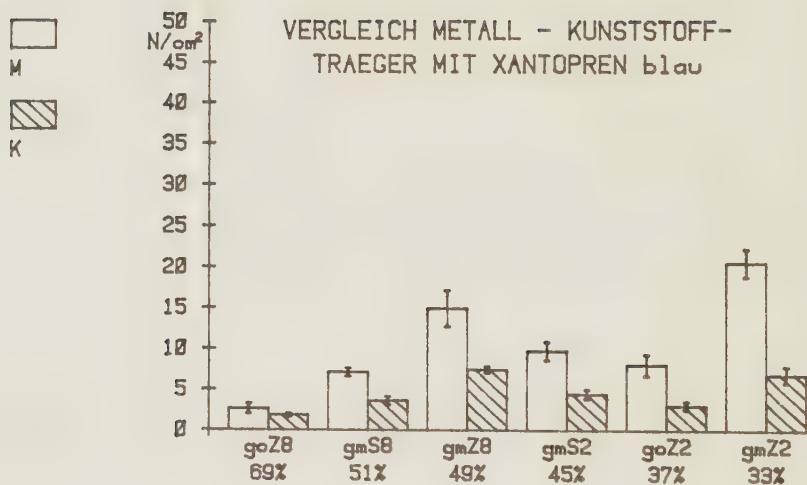


Abb. 13 Prozentualer Vergleich zwischen glatten Metall- und glatten Kunststoffträgern am Beispiel des Xantopren blau mit und ohne Adhäsiv im Zug- und Scherversuch bei 8 mm und 2 mm Schichtdicke.

4.5.6. ADHÄSIVLACK

Die Abb. 14 verdeutlicht, daß der Gebrauch von Adhäsivlack meist zu einer Erhöhung, nie zu einer Verringerung der Haftfestigkeit führt. Es sind in den Diagrammen für jedes Material ein Beispiel für maximale und minimale Haftbeeinträchtigung gegeben. Die Tendenz deutet auf eine teilweise erhebliche Haftverbesserung hin.

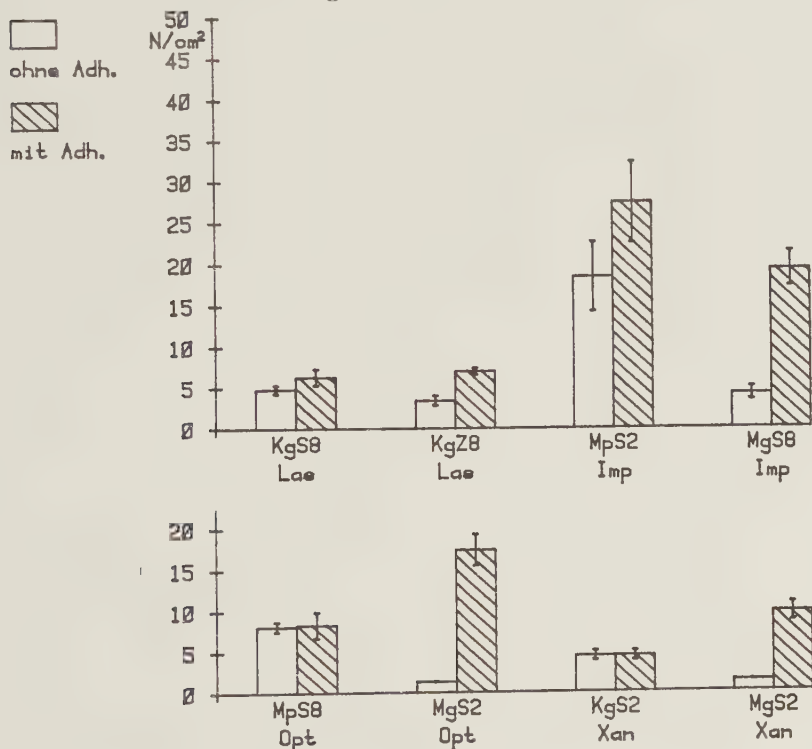


Abb. 14 Minimaler und maximaler Einfluß des Gebrauchs von Adhäsiv auf die Haftfestigkeit der Abformmaterialien Optosil plus, Xantopren blau, Lastic und Impregum.

5. DISKUSSION

5.1. VERSUCHSAUFBAU

Da Messungen ähnlicher Art im Munde eines Patienten kaum durchführbar erscheinen (2.6.1.), würde als vergleichbarer Versuchsaufbau ein in eine Prüfmaschine eingespanntes Modell - Abdrucklöffel - System der Realität recht nahe kommen. Die Fragestellung der vorliegenden Untersuchung jedoch impliziert bei jedem Versuch ein Ablösen des Abformmaterials vom Löffel. Zu 100 % kann das nur gelingen, wenn sich das Material nur zwischen Löffeln befindet, es sich also immer von einem Löffel lösen muß. Es wäre möglich, in derselben Prüfmaschine Abformmaterial zwischen zwei identische, gebräuchliche, gegeneinander gerichtete Abdrucklöffel einzubringen, um einen Abreißversuch durchzuführen. Es zeigte sich jedoch in dieser Untersuchung wie auch bei anderen Autoren (15, 18, 22), daß eine Unterteilung in Zug- und Scherkräfte durchaus sinnvoll ist. So geben plane Platten, die den Abdrucklöffelboden, und, um 90° geneigt, die Löffelwände repräsentieren, die Möglichkeit, die auftretenden Kräfte getrennt zu messen. Unberücksichtigt bei diesen Vergleichen bleiben schräge Wände und das Verhältnis ihres Flächeninhalts zueinander.

Die Prüffläche der verwandten runden Platten ist mit 35 cm^2 groß genug, um experimentelle Fehler klein zu halten. Der Unterschied zu den Kunststofflöffelplatten mit 52 cm^2 in Trapezform gestattet einen direkten Vergleich, da ein Einfluß der absoluten Fläche und der Form sowie der Länge der

äußeren Begrenzung auf die Haftfestigkeit nicht erkennbar ist und die Ergebnisse in N/cm^2 umgerechnet werden.

5.2. VERSUCHSDURCHFÜHRUNG

Die Prüfmaschine erzeugt Kraft über den Weg. Sie läßt es zu, Proben gleichmäßig und reproduzierbar herzustellen. Einige Ungenauigkeiten, die sich aus dem Versuchsaufbau anderer Autoren ergeben (2, 6, 8, 20), lassen sich vermeiden. Das Meßverfahren über eine geeichte Meßdose mit direkter graphischer Aufzeichnung ist Federwaagen und Wassergläsern sicher überlegen. Die gewählte Abzugsgeschwindigkeit wurde den Versuchen von NOLTE (15) angepaßt, um vergleichbare Werte zu erhalten. Er ist nach Versuchen mit anderen Abzugszeiten zu der Überzeugung gelangt, mit 10 mm/min Abzugsgeschwindigkeit der Forderung nach zügigem Entfernen des Abdrucks zur Verringerung der bleibenden Deformation am nächsten zu kommen. LEUFFEN (12) hatte auf die Abhängigkeit zwischen Abzugskraft und Abzugszeit, erklärbar durch die elastischen Eigenschaften der Materialien, hingewiesen. Er erkannte einen linearen Zusammenhang zwischen Abzugsgeschwindigkeit und Größe der Abzugskraft. Seine Werte zeigen, daß eine Kraftverdoppelung die Abzugsgeschwindigkeit um den 33-fachen Betrag erniedrigt. Ein Vergleich zu dieser Aussage ist aufgrund der konstanten Abzugsgeschwindigkeit dieser Untersuchung nicht möglich.

5.3. ERGEBNISSE

5.3.1. ABZUGSKRÄFTE

Die Höhe der gemessenen Werte in Tab. 6 läßt sich mit den von NOLTE (15) erzielten Ergebnissen vergleichen; der Versuchsaufbau, die Versuchsdurchführung und zum Teil auch die Materialien stimmen überein und gestatten einen Vergleich zwischen den Meßergebnissen. Zieht man in Erwägung, daß seinen Versuchen einheitlich eine Schichtstärke von 3 mm zu Grunde liegt, herstellungsbedingte Materialunterschiede möglich sind und individuelle Einflüsse bei der Versuchsdurchführung unvermeidbar sind, ist erklärlich, daß in der Tendenz die gemessenen Kräfte in einer vergleichbaren Größenordnung liegen, im Einzelfall aber doch Unterschiede erkennbar sind, Tab. 1. Als Beispiel sei dafür außerdem die Differenz der Mittelwerte bei Impregum erwähnt. So haben elf Versuche der vorliegenden Arbeit mit 2 mm Schichtdicke bei Impregum einen Mittelwert von $26,7 \text{ N/cm}^2$, während sich für die entsprechenden Werte der Arbeit von NOLTE (15) für Impregum ein Mittelwert von $33,2 \text{ N/cm}^2$ errechnet. Andererseits ergeben die von ihm durchgeführten sechs Versuche mit Lastic einen Mittelwert von $7,3 \text{ N/cm}^2$ zu $7,65 \text{ N/cm}^2$ der in dieser Untersuchung erzielten 2 mm - Werte für Lastic unter sonst gleichen Voraussetzungen.

5.3.2. SCHICHTDICKE

Ein Nebenergebnis der Arbeit von LEUFFEN (12) zeigt, daß bei dickeren Abformmaterialsichten geringere Abzugskräfte nötig

sind. Da es sich bei diesen Versuchen um Abdrücke von teilbezahnten Kunststoffmodellen (Frasacco) mit verschiedenen Löffeln handelt, spielt dabei sicher die Materialsteifigkeit und Elastizität eine entscheidende Rolle. Auch andere Einflüsse, wie untersichgehende Stellen, schräge Löffelwände und Benetzungsmittel zwischen Modell und Abformmaterial gehen in seine Untersuchung ein und lassen Zweifel an der Aussagekraft dieses Randresultats aufkommen. Das Ergebnis der vorliegenden Untersuchung bestätigt jedoch unter exakt auf diese Fragestellung ausgerichteten Versuchsbedingungen seine Vermutung: Geringe Schichtdicken verstärken die Haftfestigkeit. Dies ist erklärbar. Das Abformmaterial wird beim Zusammenfahren der Prüfmaschine zur Herstellung der dünnen Proben offensichtlich unter größerem Druck an die Oberfläche der Abformträger gepreßt. Die dichtere Anlagerung des elastischen Materials auch an feinste Strukturen der festen Oberfläche ergibt sicher eine höhere Verbundfestigkeit. Daß dünnere Proben einen höheren Druck erfordern, war während der Versuchsphase der Untersuchung zum einen am starken Herausquellen der Abformmaterialien aus den Perforationen erkennbar, zum anderen an der erheblich blasenärmeren Oberfläche der dünnen Proben. Eine weitere Ursache für höhere Haftfestigkeiten bei dünnen Schichten liegt in den elastischen Eigenschaften der Materialien. Elastische Proben erfahren unter Zugbelastung durch die Materialeinschnürung in der Mitte eine größere Querschnittsänderung als am Rand. Die Materialeinschnürung verstärkt allerdings die Abzugskräfte am Rand der

Probe, deutlich erkennbar am Lösen der Versuchsproben vom Rand aus. Eine dicke Probe ist elastischer. Die Einschnürung und damit die auf den Rand wirkenden Kräfte sind größer als bei dünnen Proben, womit ein Loslösen unter geringeren Abzugskräften und damit eine geringere Haftfestigkeit einhergeht.

Die Haftfestigkeit von elastischen Materialien an festen Oberflächen wird von der verschieden dichten Anlagerung sowie der unterschiedlichen Elastizität schichtdickenabhängig mit beeinflußt.

5.3.3. ABFORMMATERIALIEN

Die hohen gemessenen Werte der Haftfestigkeit für Impregum bestätigen die Ergebnisse anderer Autoren (1, 15). Dieses Material zeichnet sich durch geringe Anfangssteifigkeit, die sich beim Anmischen als günstig erweist, und sehr hohe Endsteifigkeit im abgebundenen Zustand aus. Dieses Spielraum wird mit keinem Silikon erreicht. Auch Optosil plus und Lastic bieten mit anderen Autoren vergleichbare Ergebnisse. Xantopren blau wurde in ähnlichen Arbeiten bisher nicht untersucht. Dieses dünnfließende Silikonmaterial dennoch in die Versuche einzubeziehen, erscheint sinnvoll, da es vielfach verwandt wird und in der Frage des Einflusses der Viskosität auf die Haftfestigkeit in die Reihe dick - mittel - dünn - fließend gut einzuordnen ist. Die Einbeziehung eines Alginates in die Versuche wäre aus Gründen der Vergleichbarkeit interessant gewesen. Andererseits sind diese Materialien als hinreichend untersucht anzusehen und kommen, wie LEHMANN (11) ermittelte, für Präzisionsabdrücke in Deutschland kaum zur Anwendung.

5.3.4. ZUG- und SCHERKRÄFTE

NOLTE (15) erkennt eine Tendenz, daß die Zugfestigkeit elastomerer Materialien größer als die Scherfestigkeit ist. Dies kann auf Grund der hier vorliegenden Ergebnisse nicht generell bestätigt werden. Bei Impregum ist die Zugfestigkeit höher als die Scherfestigkeit. Lastic und Optosil las-

sen keine Aussage über einen Unterschied zwischen Zug- und Scherkräften zu. Xantopren blau läßt die Tendenz erkennen, daß Zugkräfte größer als Scherkräfte sind. Es ist hier, ähnlich wie bei der Schichtdicke, zwischen Haftfestigkeit, von der man annehmen muß, daß sie, da die Ausgangsparameter der Versuche gleich sind, auch gleich sein muß, und der benötigten Abzugskraft, die gemessen wird, zu unterscheiden. In die Meßwerte geht sicher auch das elastische Verhalten der Proben ein. Abhängig von der Höhe der Haftfestigkeit ist auch das elastische Verhalten der vier untersuchten Materialien verschieden, so daß daraus möglicherweise die fehlende Eindeutigkeit der Ergebnisse erklärt werden kann. Genauere Erkenntnisse darüber müssen aber einer gesonderten Arbeit vorbehalten bleiben.

5.3.5. LÖFFELMATERIAL

Die untersuchten Materialien Messing verchromt, vorgeformter und individuell hergestellter Kunststoff bestätigen hinsichtlich der Haftung des Abformmaterials die Ergebnisse anderer Autoren (15, 17, 19). Auch sie fanden die geringsten Werte für konfektionierte Kunststofflöffel und die höchsten Ergebnisse für Metalllöffel (2.3.1.1.).

5.3.6. PERFORATIONEN

Die generell haftverbessernde Wirkung der Perforationen, wie sie HUPFAUF und TOKMANN (7) für Alginat angeben, kann nicht bestätigt werden. NOLTE (15) bemerkt, daß perforierte Trä-

ger nicht unbedingt besser sind. Diese Formulierung trifft auch für die vorliegenden Ergebnisse zu. Bedenkt man dazu, daß Perforationen die Verformungsstabilität eines Abdrucklöffels sicher nicht erhöhen, kann man K.KÖRBERS (10) Empfehlung verstehen, der rät, perforierte Löffel hauptsächlich nur zur Herstellung von Anschauungsmodellen zu verwenden.

5.3.7. ADHÄSIVLACK

Jede Herstellerfirma von Abformmaterial empfiehlt die Anwendung des dazugehörigen Haftlacks. Die chemische Zusammensetzung der Haftvermittler ist in der einschlägigen Literatur nicht beschrieben. Es zeigen sich erhebliche Unterschiede in der Wirkung der Lacke, Abb. 1. Impregum wird durch den Haftlack zum Teil so fest mit der Abformoberfläche verbunden, daß das Abformmaterial in sich reißt. Bei den Silikonen bleibt der Haftlack teils am Abformträger, teils am Abformmaterial oder an beiden haften. Auffällig ist, daß die Verarbeitung des Reto-Haftlacks der Firma Kettenbach unpraktisch ist. Das Material soll mindestens 20 Minuten trocknen. Die anderen Lacke dagegen trocknen so schnell, daß man der Forderung nach dünnem Auftragen kaum nachkommen kann, da die Flüssigkeit während des Verstreichens weitgehend verdunstet ist. Ein Problem ist ferner die Entfernung dieser Lacke. Meist sind die Abformträger nur sehr mühsam mit Aceton oder Nitrolösung zu reinigen. Vorteile bieten sicher die im Handel erhältlichen Sprayadhäsive mit dazugehörigem Reinigungsspray. Ein Vergleich dieser Materialien sollte weiteren Untersuchungen vorbehalten bleiben.

6. KLINISCHE FOLGERUNGEN

Die Ergebnisse dieser Laboruntersuchung lassen sich teilweise auf klinische Situationen übertragen. Es lassen sich einige Empfehlungen aussprechen.

Konfektionierte Kunststofflöffel sind für Präzisionsabdrücke ungeeignet. Individuell hergestellte Löffel bieten aus werkstoffkundlicher Sicht, wenn sie genügend dick sind, keine Nachteile. Nur ihre Herstellung ist recht aufwendig. Glatte, stabile Metalllöffel stellen für Präzisionsabdrücke das Mittel der Wahl dar.

Perforierte Löffel sollten nur für mittelfließende Materialien verwendet werden.

Adhäsivlacke sollten grundsätzlich angewandt werden.

Die Wahl des Abformmaterials sollte sich nach der jeweiligen individuellen Patientensituation, den erforderlichen werkstoffkundlichen Prioritäten, dem Abdruckverfahren, der Erfahrung und dem persönlichen Geschmack des Zahnarztes richten.

Die Schichtdicke des Abformmaterials sollte zum sicheren Halt möglichst gleichmäßig dünn sein.

7. ZUSAMMENFASSUNG

In 66 Versuchsreihen mit 613 Einzelversuchen wurde im Laborversuch an einer Universalprüfmaschine die Abhängigkeit der Haftfestigkeit eines knetbaren, eines mittelfließenden und eines leichtfließenden Silikons (Optosil, Lastic, Xantopren) in Schichtdicken von 2 und 8 mm sowie eines mittelfließenden Polyäthers (Impregum) an vier unterschiedlichen Abformträgern aus Metall mit glatter und perforierter Oberfläche, sowie aus vorgefertigten und individuell hergestelltem Kunststoff mit und ohne Haftlack im Zug- und Scherversuch untersucht.

Die Hauptversuche zeigen statistisch-signifikant folgende Ergebnisse:

- a) Dicke Schichten verringern die Haftfestigkeit.
- b) Metalloberflächen gewährleisten eine höhere Haftfestigkeit als Kunststoffoberflächen.
- c) Perforationen führen nicht unbedingt zu höherer Haftfestigkeit.
- d) Adhäsivlacke verbessern die Haftfestigkeit.
- e) Steife Abformwerkstoffe bieten eine höhere Haftfestigkeit.

Der Einfluß dieser verschiedenen Parameter auf die Haftfestigkeit ist unterschiedlich groß.

Trotz vieler Untersuchungsergebnisse bleibt die präzise Abdrucknahme eine zahnärztliche Tätigkeit, die von zahlreichen Faktoren beeinflusst wird und die ohne Übung, Erfahrung und gute Teamarbeit nicht immer erfolgreich durchführbar sein wird.

8. SCHRIFTTUMSVERZEICHNIS

1. DAVIS, GB.; MOSER, JB.; BRINDEN, Gl.:
The Bonding Properties of Elastomer Tray Adhesives
J. Prosthet. Dent 36, 278-285 (1976)
2. DOIDER, E:
Hydrokolloidale Abdruckmaterialien
Schweiz. Zahnheilk. 50, 785-830 (1940)
3. Enzyklopädie, Naturwissenschaft und Technik
Verlag moderne industrie München 1979
4. FRANKE, H.:
Lexikon der Physik
Francke Verlag Stuttgart 1969
5. FUCHS, P.; WALLNER, M.:
Abformmethoden bei niedergelassenen Zahnärzten
Dtsch. zahnärztl. Z. 27, 584-588 (1972)
6. HOHNDORF, F.-W.H.:
Untersuchungen über haftverbessernde Methoden für
Alginate-Abformmassen unter Verwendung von Original-
Löffeln
Med. Diss., Mainz 1975
7. HUPFAUF, L. und TOKMANN, C.:
Die Haftung von Alginaten am Abdrucklöffel
Dtsch. zahnärztl. Z. 21, 505-510 (1966)

8. IMMEL, R.:
Haftverbessernde Präparate für Abdrucklöffel bei
Verwendung von Alginaten
Zahnärztl. Welt, 76, 891-892 (1976)
9. KÖRBER, E.:
Adhäsion und Luftdruckwirkung
Dtsch. zahnärztl. Z. 11, (1956)
10. KÖRBER, K. und LUDWIG, K.:
Zahnärztliche Werkstoffe und Technologie
Thieme Verlag 1982
11. LEHMANN, K.M.:
Welche Methoden werden in der zahnärztlichen
Praxis für die Abformung von Kronen und Brücken
angewandt?
Zahnärztl. Mitt. 69, 602-614 (1979)
12. LEUFFEN, J.:
Über die Abzugskräfte bei der Abformung mit
elastischen Werkstoffen
Med. Diss., Bonn 1970
13. LUTZ, F. et al:
Adhäsive Zahnheilkunde
Juris Druck und Verlag, Zürich 1976
14. MARKSKORS, R.:
Abformung bezahnter Kiefer mit individuellen
Löffeln
Zahnärztl. Welt, 87, 682 (1978)

15. NOLTE, Th.:
Haftfestigkeit von vier zahnärztlichen elastomeren
Abdruckmaterialien am Abdruckträger
Med. Diss., Berlin 1980
16. REHBERG, H.-J.:
Zur Frage des Halteeffekts totaler Prothesen
Dtsch. zahnärztl. Z. 11, (1956)
17. REHBERG, H.-J.:
Der Abformlöffel, ein wichtiger Faktor für die
Abformgenauigkeit
dent. lab. 26, 44 (1978)
18. SCHÜLER, P.:
Untersuchungen über Adhäsion und Retention der
Alginateabdruckmassen am Abdrucklöffel
Med. Diss., Heidelberg 1970
19. SCHWICKERATH, H.:
Stabilität der Abformlöffel
Zahnärztl. Welt, 87, 596 (1978)
20. TOKMANN, C.:
Untersuchungen über die Haftung der elastischen
Abformmaterialien am Abdrucklöffel
Med. Diss., Mainz 1963
21. VIOHL, J.:
Abformwerkstoffe
In: EICHNER, K.: Zahnärztliche Werkstoffe und
ihre Verarbeitung
4. Aufl., Hüthig, Heidelberg 1981

22. WILSON, H.J. und SMITH, D.C.:

The Bonding of Alginate Impression Materials
to Impression Trays

Brit. dent. J. 115, 291-294 (1963)

23. WALLIS, W.H. und ROBERTS, H.V.:

Methoden der Statistik

2. Auflage, Rudolf Haufe Verlag,

Freiburg i.Br. 1965

Ab November 1981 befaßte ich mich mit meiner Dissertation. Mein Dank gilt Prof. Dr. Viohl für die Überlassung des Themas, sowie Dr. Dermann für seine stets hilfreiche Unterstützung bei der Durchführung und Auswertung der Untersuchung. Ich danke meiner Frau für die geduldige Mithilfe sowie Frau Hilpert für ihren unermüdlichen Schreibeifer.

Lebenslauf:

- 1955 Geburt als Sohn der Eltern Dres Ingeborg und
 Kurt Koppe in Berlin-Schlachtensee
- 1962 Einschulung in die Nord-Grundschule in
 Berlin-Zehlendorf
- 1968 Wechsel zum Schadow-Gymnasium in Berlin-
 Zehlendorf
- 1974 Hochschulreife am Schadow-Gymnasium
- 1975 Beginn des Studiums der Zahnmedizin an der
 FU-Berlin
- 1981 Staatsexamen und Bestallung als Zahnarzt
- 1981 Beginn der Tätigkeit als wissenschaftlicher
 Mitarbeiter der prothetischen Abteilung im
 Fachbereich Zahn-, Mund- und Kieferheilkunde
 der FU-Berlin
- 1984 Beginn selbstständiger Tätigkeit in
 Berlin-Friedenau

